

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ

С. А. Поттосина, Т. А. Дуйнова, Г. В. Новоселов

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь
E-mail: pottosina@sam-solutions.net*

Предлагается ряд прикладных задач, появившихся под влиянием изучения курса «Математика рынка ценных бумаг» и ставших ядром программных модулей дипломных проектов в рамках специальности «Информационные системы и технологии в экономике».

Ключевые слова: временные ряды, методы фильтрации, прогнозирование, авторегрессионные модели, модели со стохастической волатильностью, тренды.

ВВЕДЕНИЕ

Курсом «Математика рынка ценных бумаг» завершается пирамида математического образования выпускников БГУИР по специальности «Информационные системы и технологии в экономике». Программа курса предусматривает изучение моделей динамики финансовых активов с дискретным и непрерывным временем (модели $ARIMA(p,d,q)$, модель Мертона, модель Самуэльсона), факторные модели эволюции индекса рыночной активности (модель Дотхана, модель Хо и Ли), уравнение Блэка-Шоулса для цен производных финансовых активов. Уделено внимание прогнозированию в линейных стохастических моделях, теории оптимального портфеля ценных бумаг, рыночной и арбитражной моделям ценообразования финансовых активов. Кроме того, для исследования нестационарности на финансовых рынках предлагается познакомиться с такими инструментами как нелинейные стохастические модели (модель $ARCH(p)$, модель $GARCH(p,q)$, модель $HARCH(p)$, модель стохастической волатильности $SV(p)$) и коинтеграция временных рядов. В программе курса предусмотрено ознакомление с основными элементами технического анализа, предназначенного для предсказания направления изменения стоимости актива, выдачи рекомендации для уменьшения риска, связанного с этими изменениями.

Накопленный к 5-му курсу потенциал в области информационных технологий и языков программирования (объектно-ориентированное программирование и проектирование, сетевые информационные технологии, языки $C++$, $JAVA$, $HTLM$ и другие) позволяет студентам решать широкий круг задач, связанных с принятием решений в различных областях социально-экономической сферы.

Рассмотрим более подробно несколько задач, относящихся к вероятностно-статистическому моделированию и нашедших воплощение в виде инструментальных средств.

разработанных при выполнении дипломных проектов студентов инженерно-экономического факультета БГУИР.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФОНДОВЫХ ИНДЕКСОВ

Фондовые индексы являются показателями, отражающими уровень или изменение цен определенного набора ценных бумаг, включенных в базу расчета фондового индекса. С их помощью можно осуществлять прогноз при принятии решений на финансовом рынке. Оценка качества фондовых индексов обусловлена тем, что не все значения фондового индекса пригодны для дальнейшего использования, так как результаты расчета фондовых индексов содержат погрешности, вызванные субъективными и объективными факторами, то возникает проблема качества фондовых индексов [1]. В основе общего подхода к оценке качества фондовых индексов лежит использование эталонного фондового индекса.

Эталонный фондовый индекс — это показатель, который объективно отражает характеристики требуемого свойства рынка. Под ошибкой значения фондового индекса будем понимать отклонение $e_t = \mathcal{I}_t - H_t$ исходного значения фондового индекса (I_t) от его эталонного значения ($\mathcal{I}_t$):

Для оценки качества фондовых индексов целесообразно использовать три группы показателей. Первая группа характеризует точность, вторая — адекватность действительности, а третья — надежность фондового индекса.

Точность оценивается с помощью следующих показателей: средняя ошибка для всего ряда значений фондового индекса за рассматриваемый период времени, средняя абсолютная ошибка фондового индекса за рассматриваемый период времени, средняя относительная ошибка, среднее квадратичное отклонение (σ_e) и дисперсия (σ_e^2), предельная погрешность фондового индекса, выраженная формулой $\Delta I = \max |I_t - \mathcal{I}_t|$. Адекватность оценивается с помощью коэффициента адекватности

$$A = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T e_t^2}{\sum_{t=1}^T (\mathcal{I}_t - \bar{\mathcal{I}})^2}.$$

Решение задачи надежности фондового индекса включает нахождение предельных границ показателей качества, а также определение вероятности того, что значения показателей качества фондового индекса будут находиться в установленных пределах.

Комплексный подход к решению вопроса о том, какими индексами лучше пользоваться для прогнозирования цен на рынке ценных бумаг, включает в себя программную оценку качества фондовых индексов, их моделирование на основе некоторой вероятностно-математической модели с последующим прогнозированием по той модели, которая более адекватна реальным данным. Если корреляционная функция временного ряда фондового индекса положительна, то его прогноз может быть получен на основе моделей ARMA(p, q), в противном случае — на основе моделей со стохастической волатильностью [2].

Для получения прогнозных оценок в моделях ARMA(p, q) предлагается подход, предложенный в [3]. Для модели ARMA(1, 1) он сводится к нахождению прогнозных оценок по формуле:

$$\hat{h}_{n+l} = \frac{(b_0 a_1 + b_1) a_1^{n+l-1}}{b_0} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \left(\frac{b_1}{b_0} \right)^k h_{n-k}, \quad (1)$$

где a_1, b_0, b_1 - оценки параметров для модели ARMA(1, 1), n - длина исходного ряда значений индекса h , l - число периодов времени, на которое будет рассчитан прогноз.

Среди моделей со стохастической волатильностью остановимся на модели Дотхана, которая имеет следующий вид:

$$dh_t = h_t (\mu dt + \sigma dw_t), \quad (2)$$

где h_t - значение фондового индекса в момент времени t ; h_0 - некоторая начальная величина (можно принять равной среднему значению моделируемого фондового индекса); μ, σ - параметры модели; w_t - винеровский процесс. Решением диффузионного уравнения (2) является функция вида:

$$h_t = h_0 \left(\exp\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma w_t\right) \right). \quad (3)$$

Параметры модели могут быть оценены по данным наблюдений за значениями $\{h_i = h(i)\}$ фондового индекса, и вычислены по формулам

$$\mu = \frac{S_x^2}{2} + \bar{x}, \quad \sigma = S_x, \quad (4)$$

где

$$S_x^2 = \frac{1}{28} \sum_{i=1}^{29} (x(i) - \bar{x})^2, \quad (5)$$

$$x(i) = \ln(h(i+1)) - \ln(h(i)). \quad (6)$$

В формуле (5) суммируются 29 значений временного ряда квадратов отклонений величин $x(i)$ от их выборочного среднего, так как исследуется поведение фондового индекса за месяц.

Для оценки качества прогноза воспользуемся распространенной процедурой, называемой постпрогнозом, при котором по n первым наблюдениям оцениваются параметры модели, а по последним $(T-n)$ наблюдениям проводится сравнение наблюдаемых и рассчитанных по модели значений [5].

Разобьем имеющийся ряд на 5 равных частей и построим прогноз по схеме, которая включает следующие элементы:

- 1) Получим оценки параметров модели на основе 4/5 временного ряда.
- 2) Построим модельные оценки для оставшейся 1/5 ряда.
- 3) Исходя из модельных оценок и реальных данных вычислим ошибки прогноза

по формуле $\xi_i = \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}$.

Тогда качество прогноза может быть оценено по величине средней ошибки прогноза

$\bar{\xi} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \xi_k$. Если $\bar{\xi} < 10\%$, то качество прогноза отличное; если $10\% \leq \bar{\xi} < 20\%$ - хорошее; если $20\% \leq \bar{\xi} < 50\%$ - удовлетворительное. Если $\bar{\xi} > 50\%$ - неудовлетворительное.

Для автоматизации процесса оценки качества, а также моделирования поведения фондовых индексов был разработан программный продукт, реализующий следующие возможности:

1. Хранение числовых значений фондовых индексов, вычисленных на определенный момент времени (например, ряда дневных значений индекса COMPING).

2. Оценка качества выбранного индекса. Оценка качества включает в себя расчет параметров точности, адекватности и надежности, перечисленных выше.

3. Моделирование поведения фондового индекса в соответствии с моделью $ARMA(p,q)$ или моделью Дотхана (в зависимости от вида автокорреляционной функции индекса) и последующее прогнозирование с оценкой качества прогноза.

Тестирование программного модуля было проведено на реальных данных американского фондового индекса S&P 500. и белорусского индекса государственных ценных бумаг и краткосрочных облигаций (ГЦБ/КО).

Рассмотрим получение прогнозных оценок фондовых индексов, для которых были построены математические модели. Для фондового индекса S&P 500 прогнозные оценки в приложении "Stock Analytics" выглядят следующим образом:

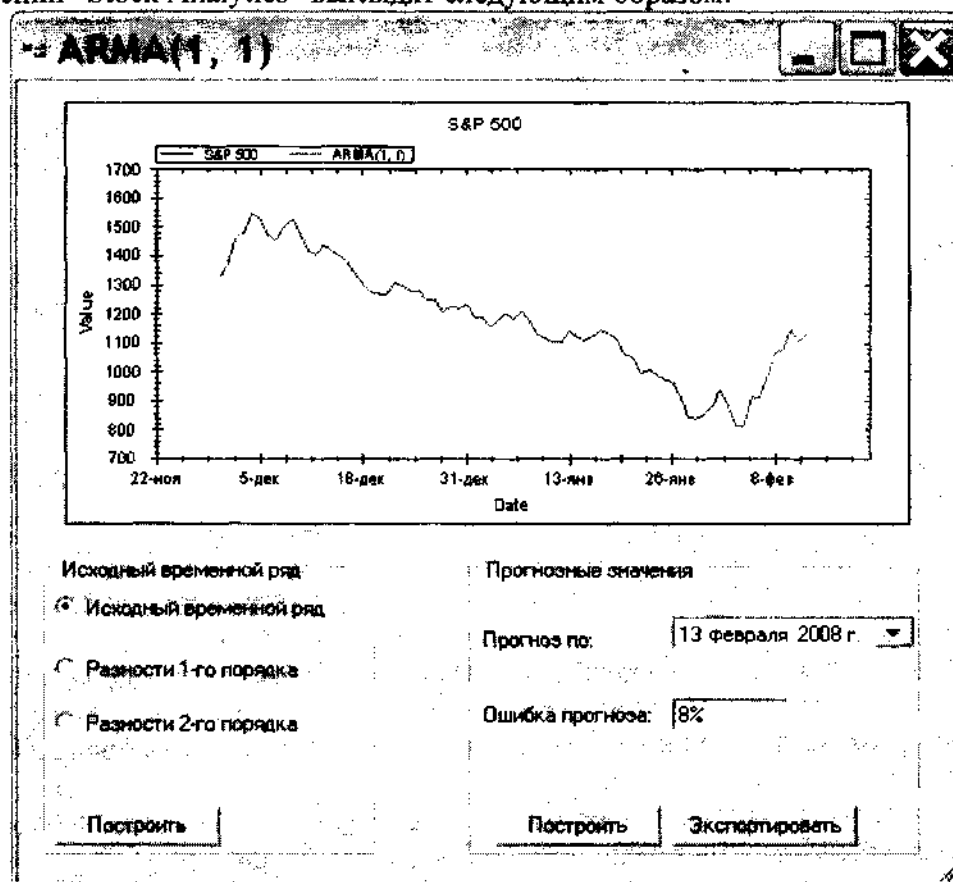


Рис. 1. Прогнозные оценки фондового индекса S&P 500 в модели $ARMA(1,1)$

Ошибка прогноза составляет 8%, что позволяет сделать вывод об отличном качестве прогноза по модели $ARMA(1, 1)$.

Для моделирования поведения индекса ГЦБ/КО после анализа его корреляционной функции была выбрана модель Дотхана. Прогноз выглядит как показано на рис. 2.

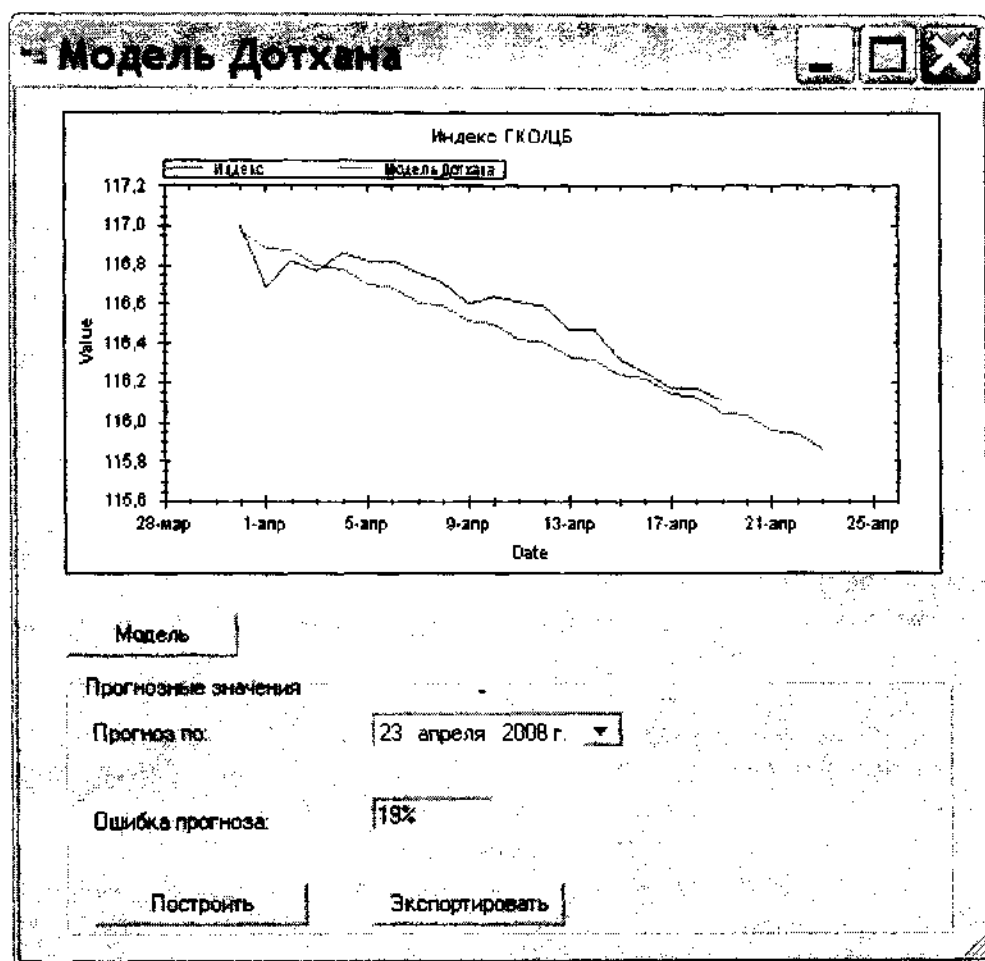


Рис. 2. Прогнозные оценки в модели Дотхана

Ошибка прогноза по модели Дотхана составила 19%, из чего следует, что качество прогноза хорошее.

ПРОГРАММНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ФОНДОВЫХ РЫНКАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ

Методы фильтрации – одна из групп методов технического анализа, основанных на применении различных математических формул к движениям рынка [4]. Термин *фильтры* означает, что эти методы пытаются отделить трендовые ценовые движения от нетрендовых, экстремумы рынка от его равномерного развития. Проще говоря, методы этой группы различными способами подают сигналы о развороте бычьего или медвежьего тренда, а также подтверждают тот или другой сценарий развития цены – рост, спад или отсутствие серьезных движений.

Большинство автоматизированных систем технического анализа акцентируется на предоставлении трейдеру максимума возможных инструментов для анализа состояния рынка. Но основной недостаток такого подхода заключается в том, что система не дает советов о моментах поворота трендов: трейдеру предлагается лишь широкий набор способов автоматизированного построения индикаторов, таких как скользящие средние, осцилляторы и т.п., анализировать которые приходится ему самому. В процессе определения на-

бора методов для своей стратегии трейдер должен руководствоваться следующими рекомендациями:

- 1) при четко направленном тренде следует отдать предпочтение скользящим средним;
- 2) при боковом тренде необходимо в основном доверяться осцилляторам.

Однако на реальных рынках не всегда бывают ситуации, когда имеют место четко выраженные тренды. Иногда можно спутать внутритрендовые колебания цены с основным направлением тренда и допустить грубые ошибки при покупке-продаже акций, потеряв в результате деньги. Поэтому довольно разумным было бы использовать в таких случаях как комбинации скользящих средних, так и комбинации осцилляторов. При составлении комбинации целесообразно провести ранжирование различным инструментам фильтрации, задав им веса. Кроме того рекомендуется выбрать рынок, период времени для анализа и построить график движения цены в выбранном периоде.

Авторами разработана программа, реализующая процедуру получения сигналов при использовании комбинации методов фильтрации[5,6], обобщенный алгоритм работы которой выглядит следующим образом:

Шаг 1. Выбрать период времени, предшествующий дню анализа для оценки состояния рынка с помощью графика движения цены.

Шаг 2. Определить вид графика.

Шаг 3. На основании результатов, полученных на шаге 2, а также методических указаний по техническому анализу, сформировать пользовательский набор методов фильтрации, предварительно задав каждому методу относительный вес.

Шаг 4. Запустить модуль анализа на выполнение.

Шаг 5. Получить результат в виде графика с указанием точек времени, в которых тренд изменяет направление.

Шаг 6. В случае получения неинформативного результата вернуться к шагу 1. В противном случае воспользоваться результатом работы модуля.

Результатом работы этого алгоритма является массив данных, содержащий координаты и направление изменения тренда.

Ниже приведен пример работы этой программы. После загрузки системы необходимо выбрать закладку «Анализ» и установить рассматриваемый период. Затем для получения сигналов о повороте тренда необходимо сформировать стратегию анализа и сделать ее активной с помощью инструментов в пункте меню «Стратегии». В данном примере рассматриваются высокотехнологичные компании в период времени с 30.11.2007 по 30.05.2008 на рынке NASDAQ. Тестовая стратегия основана на скользящих средних с весом в 60% и стохастических линиях с весом 30%.

Программный модуль, реализующий указанную выше процедуру, включен в состав интерактивной системы моделирования и анализа финансовых временных рядов. Эта система состоит из:

- базы данных, в которой сохраняются данные о компаниях и котировках акций на бирже, а также хранятся методы и стратегии;
- графического приложения, реализующего интерфейс взаимодействия с системой;
- веб-сервиса, обеспечивающего обновление данных о котировках акций.

В настоящий момент в программном модуле предусмотрены следующие возможности:

- анализ акций следующих компаний: Microsoft, Sun Microsystems, Oracle, Apple, Google, Ebay, Dell;

- просмотр и многогранная фильтрация цен открытия, закрытия, максимальной и минимальной цены на каждый день на акции компаний за последние 10 лет;
- построение графиков в виде диаграмм, японских свечей с возможностью выбора периода;
- выбор комбинации методов для анализа ряда;
- получение сигналов о разворотах тренда.

На рис.3 представлен фрагмент работы системы анализа биржевых котировок.

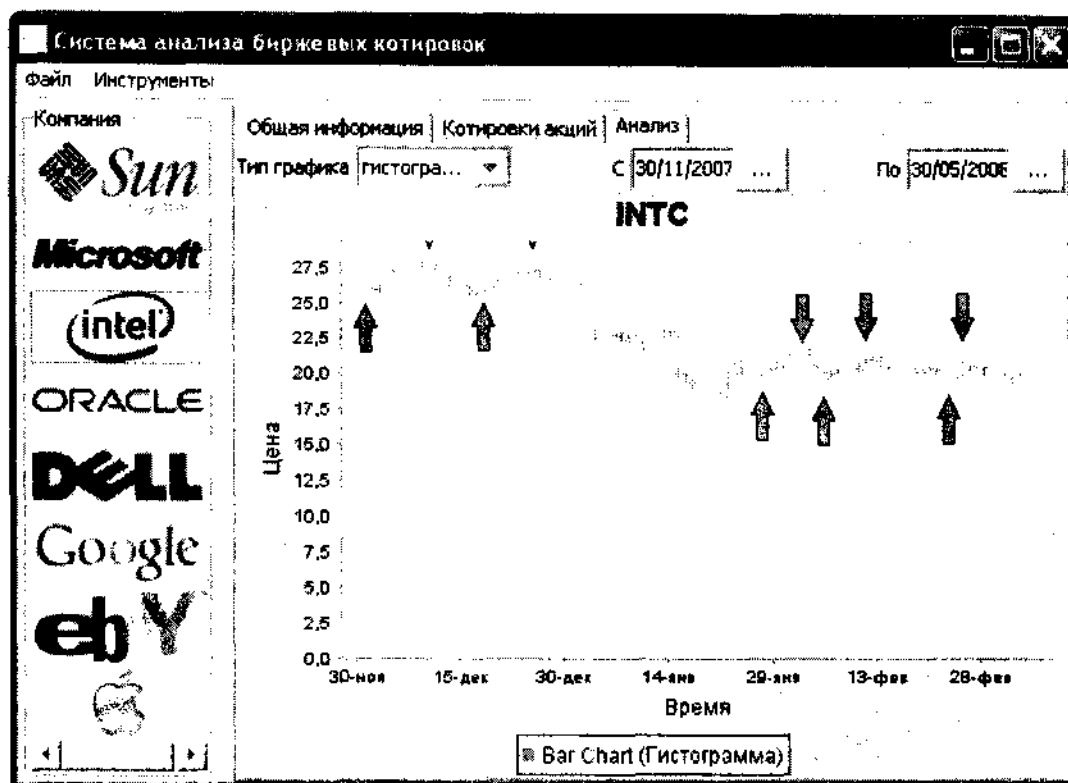


Рис. 3. Компания «Intel»

Стрелка, повернутая «вверх», дает сигнал трейдеру о покупке акций. Стрелка, повернутая «вниз», предсказывает поворот тренда вниз и сигнализирует о необходимости продавать акции, так как их цена будет понижаться.

Использование современных информационных технологий, основанных на компонентной распределенной архитектуре, позволяет решать поставленные задачи с учетом мобильности пользователей и развития сети Интернет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день создание программного обеспечения представляет собой достаточно трудоемкий процесс. Трудности связаны с разнообразием архитектур машин, операционных систем, графических оболочек и т.д. Кроме того, приложения должны работать в распределенных системах. Программирование на языке Java обладает весьма существенными преимуществами. Программы, написанные на этом языке, автоматически становятся переносимыми между множеством платформ и операционных систем. В интерактивном графическом приложении удастся достичь высокой производительности за

счет встроенной системы многопоточности. Кроме того, в приложения встроена система безопасности, не допускающая незаконного доступа и проникновения вирусов.

Несмотря на трудоемкость, ведется активная разработка программных продуктов в сфере экономики и финансов, так как они обеспечивают своевременность доставки информации, позволяют сэкономить время на расчетах и как результат, несут огромную экономическую выгоду пользователям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бельзецкий, А.И.* Фондовые индексы: оценка качества // А.И. Бельзецкий – М.: Новое знание, 2006. 310 с.
2. *Медведев, Г.А.* Стохастические процессы финансовой математики // Г.А. Медведев – Мн.: БГУ, 2005. 243 с.
3. *Терпугов, А.Ф.* Математика рынка ценных бумаг / А.Ф. Терпугов – Томск: Издательство НТЛ, 2004. 167 с.
4. *Эрлих, А.* Технический анализ товарных и финансовых рынков. Прикладное пособие // А. Эрлих. М.: «Инфра-М», 1996, 176 с.
5. <http://quote.com> – система графического анализа рынка Nasdaq
6. *Ноутон, П., Шилдт, Г.* Java2 в подлиннике / П. Ноутон, Г. Шилдт. С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005.